宇宙航空の最新情報マガジン 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 機関誌［ジャクサス］

JAXA's

No.064
April 2016

「あかつき」チームが見せた”執念”と”冷静”
金星軌道再投入までの5年間を語る

現地ルポ 角田宇宙センター
世界最大の試験設備を米欧の宇宙機関も利用

「きぼう」を使いこなしていきたい 大西卓哉宇宙飛行士、ISS長期滞在への抱負を語る

宇宙航空の最新情報マガジン

JAXA's No.064

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 機関誌

CONTENTS

JAXA'sでは、JAXAが取り組む3つの分野での活動をご紹介していきます。
1 安心・安全な社会を目指す「安全保障・防災」
2 宇宙技術を通して日本の産業に貢献する「産業振興」
3 宇宙の謎や人類の活動領域の拡大に挑む「フロンティアへの挑戦」です。

INTRODUCTION

JAXA's発行責任者の庄司義和です。今号では大西宇宙飛行士の活躍等の他、「あかつき」の軌道投入再挑戦、角田宇宙センターの研究活動を取り上げました。華やかな世界には常に舞台裏があります。ひたすら愚直に研究開発に取り組むのがJAXAの文化だと思います。信じる気持ち、必ずやり遂げるという気概をもって限界に挑戦する姿をご覧いただけると嬉しいです。

表紙画像：「あかつき」の4つのカメラによる金星疑似カラー画像。LIR：中間赤外カメラによる画像、UVI：紫外線イメージャによる画像、IR1：1μmカメラ（近赤外線）による画像、IR2：2μmカメラ（近赤外線）による画像。波長によって、観測する金星大気の高度がことなる。そのため、各画像でことなった模様が見えている。

金星周回軌道投入に再挑戦する「あかつき」の想像図。

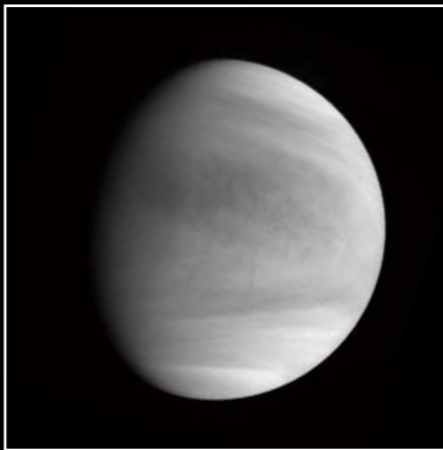
金星探査機「あかつき」の軌道再投入までの5年間を語る

エンジニアは悲観的に設計し、楽観的に運用すべし

2015年12月7日、金星探査機「あかつき」は、金星周回軌道への再投入に成功した。「あかつき」が推進系のトラブルによって周回軌道入りに失敗したのは、2010年、5年前の同じ日のことだ。この5年間、「あかつき」は太陽の周囲を楕円軌道で周回し続けていたが、チームは日々「あかつき」の状態を見守り続け、5年目の軌道再投入成功を手にした。5年前のあの日、そして5年間の思いを語り合ってもらった。

取材・文：山根一眞（ノンフィクション作家、『JAXA's』編集顧問）

フロンティアへの挑戦
産業振興
安全保障防災

「あかつき」の最後の調整を行う製造チーム。上部に見えるのが高利得平面アンテナ（写真・山根一眞）。

姿勢制御用エンジン噴射後に「あかつき」が撮影した金星画像。紫外線イメージャ（UVI）2015年12月7日14:19ごろ撮影（日本時間）。金星高度約7万2千km。

振り返って撮った金星の写真

山根　「あかつき」との関わりが最も長いのが最年長の小山さん。

小山　「金星に探査機を」と夢見てプロジェクトを立ち上げて以来ですから、もう20年以上だな。日本初の科学衛星「しんせい」（1971年）に始まり、「さきがけ」（1986年）、火星探査機「のぞみ」（1998年）など、日本のいわゆるEXOS系の科学衛星や探査機、すべてに関わってきましたが、「あかつき」の周回軌道再投入成功で涙が出るような特別な感慨はなかった。この日までのプロセスはだいたい耳に入っていましたから。

山根　成功して当然？

小山　「100%大丈夫」と口にできないのが宇宙。しかし、衛星も探査機も、常に、最大限の努力尽くして後悔ないという準備をする。一方、不安が少しでも残ったままだと不思議に「何か」が起こるのも宇宙です。

山根　含蓄のあるお言葉です。

豊田　昨年12月の金星周回軌道への再投入前に、「一番大事なことは、ここにいる全員が成功を心から信じることだ」という言葉を聞きました。

山根　5年前のトラブル発生後の対応で、プロジェクト・エンジニアの石井信明さん（教授）の淡々として、かつ冷静沈着な対応には感銘しました。チームは、その後、「フォルト・ツリー・アナリシス」（FTA、失敗の木）と呼ぶ問題箇所を突き止める理論手法を重ねて、トラブルの原因を突き止めましたね。地球から遠く離れた探査機内部をあたかも直視しているかのようなあの解析結果には敬服しました。

林山　おっしゃる通り、あの不具合解析はとても高い技術だと思います。不具合事象はいくつも想定した上で、そうならないように性能評価や地上での環境試験をしています。さらに冗長系も備えていたにもかかわらず起こったまさかの不具合でした。しかしチームはFTAなどを駆使して客観的に分析し、できる限りの膨大な検討を行って「解」を出し軌道再投入成功に繋げました。

成田　石井先生と姿勢系担当の川勝先生からは多くのことを学びました。「宇宙機は打ち上げ後にトラブルが起こっても対応が限られてしまう。よってエンジニアは悲観的に設計し、楽観的に運用すべし」と。「設計は不具合が起こるつもりでやれ」と教えられ、嫌になるほどそういう取り組みをして、私にとって惑星探査の扉を開いてくれたのが「あかつき」でした。

山根　あの5年前の「失敗」を思い起こすと、よくぞ頭が真っ白になるよう状況で、素早く「あかつき」の延命法を考え、手を打ったなぁ、と。

小山　いやいや、ああいうトラブルが起こった場合、その場であわてて対処方法を考えるものじゃないんですよ。

山根　トラブルの対処法も準備していた？

成田　ええ。トラブルを想定したマニュアルは用意してありました。姿勢制御ができなくなった衛星や探査機は、あらかじめ設定した安全姿勢「セーフホールドモード」に入るよう設計してあります。われわれ姿勢系担当者は、そこまで順調な飛行を続けていたことから、そのモードに一度も入っていないという懸念はあったものの、噴射中止からのモード変更はうまくいきました。まずは「あかつき」を救う「セーフホールドモード」を実践し、電波を捕捉する、その後になすべき検討が可能となる手順はロジカルに用意してあったんです。

豊田　一時行方不明になった「あかつき」が見つかった後、理学系の専門家から、「あかつき」はどんどん金星から離れていくので、今、振り返って金星の写真を撮ろうという判断が出て撮影しました。あの理学系の方々のデータに対する執念には驚き感心しましたよ。

小山　金星探査には大変なお金がかかっているし、金星探査に夢を馳せてから、20年以上かかっているのだから、それは当然です。

2015年12月7日。「あかつき」金星軌道再投入時の運用管制室。

林山　あの写真には「あかつき」チームの思いが込められていますよね。

山根　小さな写真でしたが、そんな思いで撮ったとは……。

気合を入れ直し

山根　そして、「数年後の軌道再投入のチャンスを目指します」という発表。私は「無理だろう」と感じていたんですが？

成田　軌道投入を実践後、予定の時刻になっても「あかつき」から電波がこない時は青ざめましたよ。しかし、エンジニアとしては、何としても金星観測によるサイエンスの成果を得るための尽力をしなくてはいけないと。

山根　あの瞬間からの5年間は、チームにとっては、まったく新しいプロジェクトの日々という感じだったんでしょうね。

成田　気合を入れ直しました。

山根　気合を入れ直して、やっとやっと迎えた5年目の「瞬間」は？

成田　5年前、「あかつき」は、噴射の直後に金星の裏側、蝕に入ることから通信再開まで時間がかかりましたが、今回は比較的安定した姿勢制御と聞いていたので、安心して見守ることができましたね。もっとも私の現職である筑波宇宙センター有人宇宙技術部門では、当日は国際宇宙ステーションの運用日で宇宙飛行士による重要な衛星放出装置の修復ミッションの作業支援が入っていたため、それに注力しながら離れたといえども「あかつき」を横目で気にしていたという状況でしたが。

豊田　私は、宇宙科学研究所・相模原キャンパスの管制室で「あかつき」の速度変化をずっと見ていて、減速を確認。そのデータが計算による想定に達した段階で「成功!」と、拍手が起こりました。主エンジンは壊れていたので、姿勢制御用のスラスタ（化学推進ジェット）を1228秒（約20分）吹いた。噴射が止まり、データが平らになったところで、鳥肌が立ちましたよ。

山根　小山先生は、それは当然のことと？

小山　いやいや。宇宙科学研究所の工学担当者たちは非常に優秀でした。システムをよく理解しているし、マネージメントも上手。私はいつも工学のみなさんとは深い尊敬の念をもって付き合っていました。

山根　林山さんは？

林山　私は、昨年は、すでに「あかつき」のプロジェクトから離れていたので管制室の外から応援していました。

山根　ハラハラしながら？

林山　そうではないですね。12月7日までの軌道制御が順調だと知っていたので、必ずうまくいくと確信していましたから。もちろん祈らずにはいられず、成功を知ってとても嬉しかった。

想定以上の「熱」を回避した運用

山根　私は、この5年間に「あかつき」が受けてきた想定以上の熱環境が心配でした。「あかつき」は太陽からの距離0.7AU（1AUは太陽と地球の距離）で設計したが、この5年間は0.6AU。プロジェクトマネージャの中村正人さんから「あかつき」各部の温度履歴のデータなどを見せていただき、一部の機器が設計の熱許容値を超える高温にさらされている、特にバッテリーが心配だ、と。

小山　確かに熱環境は厳しかった。衛星設計会議当初はアンテナの温度がかなり問題になりました。

豊田　リチウム電池は10℃温度が上がると劣化速度は倍になりますが、もう1つの課題は充電状態です。スマホやノートパソコンでは毎日、フル充電にしていますが、そうすると劣化が進みます。これら、電池の寿命は管理の仕方しだいなんです。

山根　どういう「管理」を？

豊田　当初の計画では、４～5年の運用予定だったので10℃で維持する予定でしたが、軌道投入に失敗した後は温度を10℃下げて0℃を維持。劣化を抑え長寿命化の措置をとっていたんです。

山根　そんなことをしていたとは……。

豊田　打ち上げ後、金星到着までは日陰はないので電源は太陽電池パドルのみを利用し、電池は、万一、姿勢を喪失した非常用として30%弱の充電状態を維持。その後、金星の周回軌道に入ると日照と日陰のサイクルに入るため、これ以降、初めて電池の充放電を繰り返す想定でした。こういう使い方は初めての経験でしたが、5年間、うまく持ってくれました。

山根　「あかつき」は5年という設計寿命を超えることから、成田さんが担当の姿勢制御系でも心配はあったでしょう？

成田　姿勢制御に欠かせない「リアクションホイール」での気遣いはしています。

山根　「リアクションホイール」は傾けても倒れず回転を続ける「地球ごま」と同じ原理のパーツ。小惑星探査機「はやぶさ」では米国製の3基のうち2基が故障し厳しい運用が強いられましたね。

成田　これは、電池のように温度により劣化を食い止める手段はありませんが、故障に備えて「はやぶさ」より1基多い4基を搭載し、ピラミッド型にするスキュー配置にしています。「リアクションホイール」は回転機器なので、回転部分（ローター）の軸受けであるベアリングの摩擦が寿命に影響します。地球から金星に向かう巡航中は太陽電池パドルを本体の姿勢と独立して回転し太陽方向に向け続けることが可能なので、「リアクションホイール」は比較的安定した速度で回転することがメインの仕事になります。一方、金星周回軌道に入るとカメラの視野方向を比較的早いスパンで変えるなど回転の加速・減速を頻繁に繰り返す必要があります。そういう使い方が寿命に影響するため、巡航中は太陽電池に当たる太陽からの輻射圧を利用して、なるべく加減速を発生させない運用の工夫をしているんです。これは「はやぶさ」を地球に帰還させた技術ですね。

山根　「運用面」でも「はやぶさ」の教訓が生きたんだ。

成田　姿勢制御のための機器ですから、探査機のどこにどう配置するのがベストかの進化もしています。これも「はやぶさ」から得た教訓です。ちなみに「はやぶさ2」ではスキュー配置ではなく、X-Y-Z-Z配置と、ミッション遂行に重要なZ軸周りに手厚い配置となっています。これだけでも探査機発展の文化として数時間お話しできます。

山根　小山さん、電池にしろ「リアクションホイール」にしろ、経験が大事？

小山　観測ロケットも衛星も探査機も、理論どおりにいかないものなんです。そこが、宇宙に出ていく難しさです。宇宙科学研究所は、初の科学衛星「しんせい」以降、たくさんの観測ロケット、衛星、探査機を経験してきたが、その経験と知識の積み重ねの上に「あかつき」があるわけです。NASAの太陽系探査機「ボイジャー」は、1号機が2012年に太陽系を脱出、2号機も近々太陽系を脱出する。すでに40年以上、機能している。原子力電池のおかげとはいえ、驚異的です。そのマネージャが来日講演で、「ボイジャーの成功は経験を積んだテクノロジーのみを使ったからだ」と話されたことが印象に残っています。宇宙に進出するには、経験によって得た知識がきわめて大事。5年前の「あかつき」の失敗は、そういう経験を積んでいく1つのプロセスだったとも言える。金星に挑んできたアメリカも旧ソ連も、かなり失敗しているわけですから。

熱を受けやすい「スタートラッカ」「高利得アンテナ」の表面の工夫

山根　彼らの失敗などの経験を共有して日本に活かすことは？

小山　文書では手に入るが、それでは実感としては伝わらない。豊田さんが経験した「鳥肌」は非常に重要なワンステップ、とてもよい経験をしたんです。

山根　林山さんは通信系の担当ですが、どんな課題が？

林山　深宇宙探査機では搭載機器の軽量化が課題としてありますが、「あかつき」では、さらに、金星から地球まで最大通信距離1.7AU（約2.54億㎞）の超遠距離で、金星の観測画像など容量の大きいデータ伝送があるので、その期待に応えられる通信系をいかにして設計するかという命題がとても大きかったんです。

山根　画像圧縮技術が大事？

林山　それは観測カメラ側で工夫をしまして、通信系では、画像送信に使う高利得アンテナの工夫が必要でした。「はやぶさ」などかつての衛星や探査機の高利得アンテナはお椀状の「パラボラアンテナ」が主流。しかし、お椀型では電波だけでなく太陽の光や熱も集めてしまい高温になってしまいます。

山根　宇宙太陽湯沸かし器になってしまう？

林山　そうです。しかし、利得は高くしたい。そこで、「あかつき」では、軽量で集光機能を持たない「平面アンテナ」を新規開発し搭載したんです。

山根　「はやぶさ2」も「平面アンテナ」ですが？

林山　「あかつき」の応用です。平面で、深宇宙通信で使うパラボラ並の性能を出すのは難しいと言われていましたが、粛々と続けられてきた「平面アンテナ」の技術があり、「あかつき」はそれが活かされた。集光機能を持たない平面にして、白色塗料を塗ったレドーム（カバー）で覆ったことで、今回の想定以上の熱環境にもよい方向に動いたと思っています。この「平面アンテナ」の許容温度の上限はおよそ120℃でしたが、熱によるトラブルはなかったのでホッとしました。

成田　アンテナのように探査機の外に出ている機器は、熱の影響をまともに受けますからね。恒星をとらえて自分の今の軌道位置や姿勢を知る「スタートラッカ」も事情は同じです。「スタートラッカ」は探査機の外に飛び出した構造なので、太陽の熱をダイレクトに食らう期間が長い。そこで、内惑星周回軌道に入ったあとも、太陽の光による影響を減らし、かつ表面が劣化しにくいコーティング、塗装が大きな課題でした。衛星や探査機の主構造物には、通常は金ピカの多層断熱材（MLI）で覆っていますが、「あかつき」の「スタートラッカ」では太陽熱（光）の影響を減らす白色の塗料を採用するなどの工夫をしています。日本で初めての惑星探査機であるので、地球観測などではあまり知られていない工夫なんですが。

再投入成功後のプロジェクトメンバー。

子供たちの心に「火」をつけた「あかつき」

山根　日本にとって、皆さんにとっての「あかつき」の意味を。

小山　火星はアメリカが非常に熱心に取り組んでいます。よって日本は、アメリカがやっていないことをすべきで、それが金星探査なんですよ。宇宙探査は経験の積み重ねがあってこそ進化する。この流れを途絶えさせてはいけない。

豊田　2010年12月の失敗によって、その後の5年間に学んだことがとても大きかった。小山先生がおっしゃるように、成功、失敗にかかわらず、こういう経験が多くできる機会が増えてほしいです。

林山　「あかつき」では新規に搭載した通信機器がとても多いんです。「高利得アンテナ」以外にも、「低利得アンテナ」「進行波管増幅器」「X帯デジタルトランスポンダ」などで、すべて期待通りの成果を出すことができました。これらは今後の探査機にも搭載される予定です。また、「あかつき」の運用では地上チームの完璧な準備にも支えられました。このことすべてが、次の惑星探査への大きな励みになっています。

成田　わが国が今後の20年、30年かけて進む有人を含む惑星探査の大目標、そしてそのシナリオを創造していくという大きな命題に進む扉を開いてくれたのが「あかつき」でした。打ち上げ以降、「はやぶさ」の帰還もあり、一般公開日に「あかつき」のことを説明すると子供たちから「『あかつき』、いつ戻ってくるんですか？」と熱い期待を込めて聞かれました。それは5年前の失敗の後に一層多く寄せられたことを記憶しています。もちろん「あかつき」は地球に帰還することをミッションとはしていないのですが、そのコメントに大きな期待を感じました。的川泰宣名誉教授がおっしゃっているように、日本の力ある未来を築くためには、こういう子どもたちの宇宙や科学技術に対する心に火をつけることが大事で、「あかつき」はその役割を果たしてくれていますし、私自身もその一助となるべく邁進したいと思っています。

小山孝一郎
OYAMA, Koh-ichiro
宇宙科学研究所
元教授
現在台湾国立成功大学
プラズマ・宇宙科学研究所
客員教授
(写真・山根事務所)

成田伸一郎
NARITA, Shinichiro
有人宇宙技術部門
開発員

豊田裕之
TOYOTA, Hiroyuki
宇宙科学研究所
宇宙機応用工学研究系
助教
(写真・山根事務所)

林山朋子
HAYASHIYAMA, Tomoko
宇宙技術部門
開発員
(写真・山根事務所)

司会
山根一眞
YAMANE, Kazuma
ノンフィクション作家
『JAXA's』編集顧問
(写真・山根事務所)

「きぼう」を使いこなしていきたい

フロンティアへの挑戦
産業振興
安全保障 防災

大西卓哉宇宙飛行士、ISS長期滞在への抱負を語る

大西卓哉宇宙飛行士は今年6月から約4カ月間、国際宇宙ステーション(ISS)に長期滞在する予定です。油井亀美也宇宙飛行士、大西宇宙飛行士、そして金井宣茂宇宙飛行士というJAXAの新世代の宇宙飛行士が「たすき」をつなぎながら、宇宙で活躍する時代になりました。「きぼう」の利用も新たな段階に入っています。
宇宙への出発を前に、大西宇宙飛行士が抱負を語りました。

自らのミッションパッチのデザインに込めた思いを語る大西宇宙飛行士。

取材・文:寺門和夫(科学ジャーナリスト)

「レフトシーター」としての訓練を受ける

——長期滞在クルーに任命されてからの訓練はどのようでしたか。

大西　任命されて2年くらいですが、私はソユーズ宇宙船で左側の席に座る「レフトシーター」なので、これまで半分以上の時間はロシアで過ごしました。最初はソユーズの各システムを学ぶ学科訓練です。これがとてもきびしく、多くの試験に合格した後、シミュレーターを使った飛行訓練に入りました。

——レフトシーターは、コマンダーに何かあった場合にソユーズを操縦することがあります。パイロット出身の大西さんはソユーズ宇宙船の操縦訓練でどのような印象をもちましたか。

大西　飛行機の操縦とかなり似ていて、特に大きな苦労はなかったですね。姿勢を制御するコントローラーと位置をコントロールするコントローラーの2つを協調させて操作するというのは、飛行機の操縦と一緒です。計器で宇宙船の状態を把握して、どういう操作が必要かを頭の中で考え、実際に操作してみる。その結果をまた計器で確認して、今の操作が適切だったかどうかというのを分析するという繰り返しも飛行機の操縦と同じなので、宇宙船と飛行機の違いにさえ慣れてしまえば、やる事は同じです。

　ただし、地球に帰還する際の操縦は全然違います。ソユーズの降下は基本的には自動操縦なのですが、それがうまくいかない時には手動でできるようになっています。ソユーズのカプセルは大気圏再突入時にほんの少し揚力を生み出しているのです。カプセルを傾けることによって揚力の向きが変わるので、揚力の量を加減したり、方向を左右に調整したりして、目的地に向かっていきます。これは飛行機にはまったくないコンセプトなので、面白かった半面、難易度は高かったですね。

船外活動の準備も万全

——NASAでは船外活動の訓練もしたと思いますが、何か特定の作業を想定した訓練でしたか。

大西　ほとんどは一般的な訓練です。ISSには何かあったときにすぐ交換しなければならない部品や装置がいくつかあります。そうしたものを交換する作業の訓練は全部しました。急に船外活動をしろと言われても、できるだけの準備はしています。

——ISSではどういう準備をしてから船外活動を行うのでしょうか。

大西　2週間くらい前から準備が始まります。バッテリーの充電ですとか、船外活動宇宙服のサイズの微調整、循環させる水の入れ替えなど細かい準備がたくさんあり、当日もエアロックから出て行くまで6時間とか7時間くらいかかります。血液に溶けこんでいる窒素を追い出さないといけないのですが、そのための時間が結構長いのです。ですから、船外活動を行う日は、かなり長い1日になりますね。

——チャンスがあれば船外活動をしてみたいでしょう?

大西　ぜひ、してみたいですね。今年打ち上げられる「こうのとり」6号機では、ISSで交換の時期が来ているバッテリーが運ばれます。バッテリーの交換に船外活動は必須です。私がいる間に「こうのとり」が来て、私が船外活動をやらせていただければ、とてもやりがいのある仕事になると思います。日本の宇宙船で運んできた日本製のバッテリーですから。

——それからロボットアームの操作の訓練ですが、大西さんはすでに高い技量をお持ちです。ISS滞在中に貨物船をキャプチャする予定はありますか。

大西　確定ではないですけれども、「こうのとり」だけでなく、アメリカのドラゴンやシグナスの打ち上げも予定されているので、キャプチャを担当する可能性はあります。私からすると、目標をロボットアームで捕まえるという操作は、どの貨物船でも変わらないので、何が来ても準備は万全です。

——ソユーズで一緒に行くクルーお2人をご紹介ください。

大西　アナトーリ・イヴァニシンさんはソユーズ宇宙船のコマンダーであり、ISS第49次長期滞在のコマンダーにもなる人です。すでに一度、長期滞在をしています。寡黙な方ですが、一緒に訓練をしているときは、手順書をしっかり声に出して読んで、1つ1つステップを確認してやってくれます。そういう気を遣ってくださるので、とても仕事がしやすいですね。もう1人は、ケイト・ルービンズさんという女性です。この方はNASAの宇宙飛行士候補者訓練コースで私と同期なので、よく知っています。彼女はもともと生物学者なので、実験の訓練のときなど、こういうふうに改善すれば実験としての価値を向上させられるのではないかといった視点で実験を見ています。すごく勉強になりますね。

「きぼう」での実験が楽しみ

——油井さんが滞在中に静電浮遊炉とか小動物飼育装置といった新しい実験装置が運ばれました。油井さんはチェックとか組み立てまででしたが、今度大西さんがISSに行って実際に実験をすることになりますね。

大西　楽しみです。油井さんがいろいろ準備してくれた実験装置を本格的に稼働させる時期が来ています。「きぼう」を使いこなしていきたいですね。個人的には静電浮遊炉の実験をかなり楽しみにしています。私は大学時代、航空宇宙材料の研究室にいましたので、材料実験には興味があるんです。静電浮遊炉は日本オリジナルの実験装置ですし。

——「きぼう」の船外の利用も進んでいます。

大西　「きぼう」にはエアロックというユニークな設備があります。「きぼう」の中と外で手軽に物を出し入れできるので、すでにたくさんの超小型衛星の放出に利用されています。宇宙空間に一定期間さらして実験をする場合には、試験体を一番早い貨物船に乗せ、ISSに着いたらエアロックから外に出してすぐ実験して、終わり次第、中に引き取って、次に帰る便で地球に戻す。こういう使い方をすれば、実験のサイクルもすごく早くなり、地上での開発のスピードにも十分勝負ができるのではないかと思います。

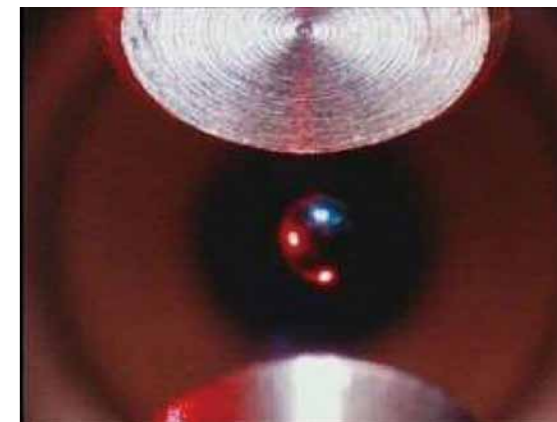
　「きぼう」の船外ではExHAM(簡易曝露実験装置)がすでに使われています。これに加え、私が多分携わることになるのが「i-SEEP」という中型曝露実験アダプターです。これもエアロックを介して実験機器を外に出して、「きぼう」の船外実験プラットフォームに取り付けます。衛星に使う機器の技術実証を行ったり、ハイビジョンカメラを付けて地球観測に役立てたりといった多様な使い方ができます。

「きぼう」に取り付けられた静電浮遊炉。

静電力により浮遊制御中の実験試料。

ISS運用延長に見合う成果をだしたい

——大西さんのミッションパッチのデザインについて少しうかがいたいと思います。

大西　一番目を引くのは全体の形だと思います。これには私のこだわりがありまして、飛行機の翼をモチーフにしています。大西卓哉という宇宙飛行士を考えた時に、民間旅客機のパイロット出身というのが、私の個性の一番大きいところだと思っています。それからISSの先に月と火星が描かれています。ISSの2024年までの運用延長に日本も参加することになりましたが、その先は、まだはっきりと決まってはいません。いろいろな可能性があって、それは国際社会の中で決まっていき、日本も政府を中心に議論していくことになるわけですが、方向性が決まってから準備するのでは遅いと私は思うのです。あらゆる可能性に備えて今から準備を進めておけば、その方向性が定まった時に、日本は独自の強みの技術で協力していくことができます。そうすれば国際社会の中で日本が中心的な役割を担うことが可能です。ISSは国際宇宙探査の技術をテストする場所として絶好の環境です。ですから、このミッションパッチには、ISSの利用を進めて将来の宇宙探査につなげていきたいという私の希望をこめているんです。

——大西さんは今の長期滞在クルーの前の前のクルーのバックアップとして、バイコヌール宇宙基地では打ち上げ直前まで行動を共にしました。ソユーズの打ち上げを実際に見て、どんなことを考えましたか。

大西　あっという間に見えなくなってしまいましたが、感動しました。ずっと一緒に過ごしてきたプライムクルーがあそこに乗っているのかと思うと、次は本当に自分なんだと感じました。

——最後に今の抱負をお聞かせください。

大西　昨年、油井さんが最高のパフォーマンスを発揮して帰って来ましたので、その経験とコツのようなものを私が受け継ぎ、さらにその上に何かを積み上げられるような、そういう仕事ができればと思います。その自分の知見を次に続く金井さんに引き継いでいきます。また、ISS運用延長が決まって初めての日本人宇宙飛行士の長期滞在になります。延長したことに見合うだけの成果をお見せできるように頑張りたいと思います。

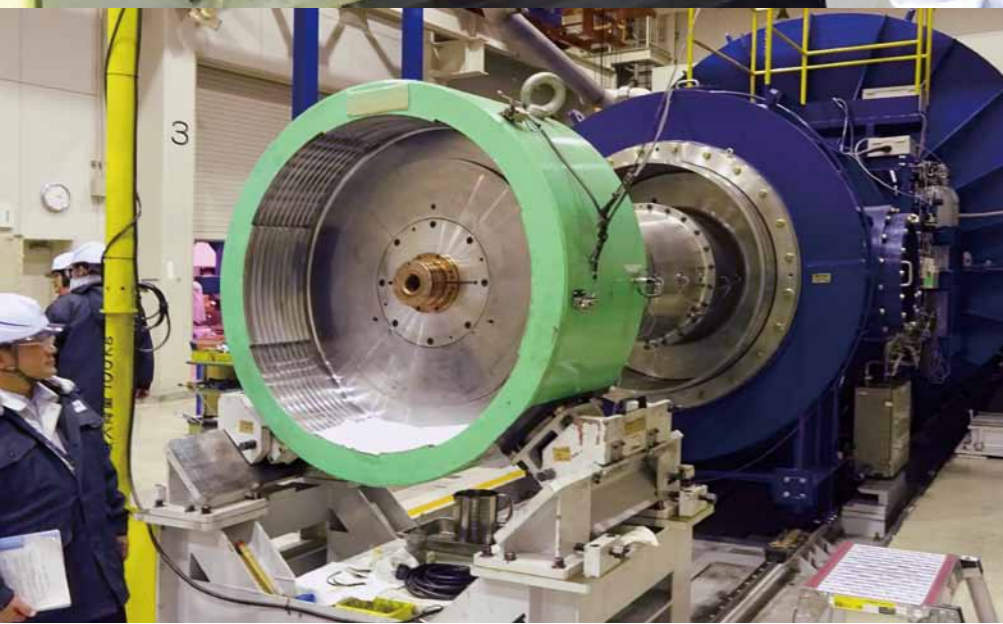
(左)「きぼう」日本実験棟エアロックトレーナにて訓練を行う大西宇宙飛行士。
(右)イヴァニシン宇宙飛行士、ルービンズ宇宙飛行士と共にソユーズ宇宙船バックアップクルーの最終試験に臨む大西宇宙飛行士。

現地ルポ

世界最大の試験設備を米欧の宇宙機関も利用 JAXA角田宇宙センター

フロンティアへの挑戦
産業振興
安全保障防災

世界最大の自由ピストン型「高温衝撃風洞」と担当の佐藤和雄さん(第四研究ユニット)。衝撃波と1万度の温度の持続時間は1000分の1 ～ 2秒にすぎないためデータを有効にする計測技術やスーパーコンピュータによる演算ノウハウも秀逸。

今回の角田宇宙センター取材の案内役をつとめてくれた吉田誠さん(角田宇宙センター所長)。

JAXAの施設は全国に13箇所あるが「センター」という名称をもつのは、筑波と調布、種子島、そして宮城県の角田のみだ。あまり知られてない角田宇宙センターだが、JAXAにとっては欠かせない大スケールの設備で未来を見据えた壮大な研究が進んでいた。

文と写真：山根一眞(ノンフィクション作家、『JAXA's』編集顧問)

全長80mの巨砲が打ち出す1万度の風

「この建物の中に世界最大の試験設備があります」

案内役の吉田誠さん(角田宇宙センター所長)が招き入れてくれたガラス張りのおしゃれな建物、その内部に鎮座する「高温衝撃風洞(HIEST)」は「風洞」とは似ても似つかぬ巨大なパイプ。そのスケールには圧倒された。

「長さ80mの管です。重量およそ800kgのピストンを一端の圧縮管に入れ、高圧空気で押し秒速400mで走行させます。巨大砲だと言われますが、戦艦大和の主砲は口径46cmでしたがこちらは60cmです」

と、佐藤和雄さん(第四研究ユニット)。

800kgの円柱状の弾(ピストン)は圧縮空気によって42m先にある「圧力隔壁」に突進。パイプ内のヘリウムガスが50分の1に断熱圧縮されて分厚いステンレスの「圧力隔壁」を4000tの力でぶち抜く。同時にマッハ15というとんでもない衝撃波(1500気圧)がその先にセットした宇宙機などの「模型」に衝突。その瞬間の温度は1万度以上に達する。

この「巨大砲」、宇宙往還機などが大気圏再突入する時と同じ厳しい条件を再現し、試験するための装置なのだ。その規模は世界最大で、米、欧などの宇宙機関もしばしばここで試験を行っている。大気圏再突入技術はきわめて難しく、かつ宇宙開発では根幹の必須技術だ。ロケットや衛星、将来を見据えたスペースプレーン、宇宙往還機や極超音速旅客機などの研究開発のために、世界最大の試験装置が稼働中と知り何とも頼もしく思えた。

もっとも「圧力隔壁」が粉々に壊れ破片が飛び散れば試験模型にダメージを与えてしまう。そのため、ステンレス板がチューリップ状に口を開くだけで破片が飛び散らない工夫など、この試験装置の運用にも大きな技術蓄積があるのも見事だ(HIESTの製造は三菱重工が担当)。

角田宇宙センターの高温衝撃風洞は1999年3月に完成。以降、世界最大規模を維持。

空から見る角田宇宙センター。東京ドームの約37倍という広大な敷地面積を持つ。周囲が山であるため、出没するイノシシが敷地内を掘り返した跡が目立った。

世界の高温衝撃風洞

作図構成：山根一眞
(JAXAの資料をもとに)

JAXA 角田宇宙センター HIEST
ドイツ国立航空宇宙研究所 HEG
米カリフォルニアエ科大学 T5
豪クイーンズランド州立大学 T4
JAXA 角田宇宙センター HEK
オーストラリア国立大学 T3
世界 No.1

超高圧のヘリウムガスで破れたあとのステンレスの圧力隔壁。

50周年を迎えた拠点「かくだ」

角田宇宙センターは、東北新幹線の仙台駅でJR東北本線に乗り換え30分南下した船岡駅で下車、車で10分ほどの山あいにあり、想像をはるかに超える広大な敷地を擁していた。ちなみに「角田」は「かくた」ではなく「かくだ」と読む。

「戦前は海軍の火薬廠(火薬工場)だった広大な土地で、今は、JAXAと自衛隊、工業団地が利用しています」(吉田さん)

角田宇宙センターは、真ん中を貫く公道をはさんで西地区と東地区に分かれている。1965年、JAXAの前身の1つ、航空宇宙技術研究所(NAL)が西地区に角田支所を設置。続いて1978年発足の宇宙開発事業団(NASDA)が東地区に角田ロケット開発室を建設。2003年、宇宙3機関が統合しJAXAの発足とともにロケットエンジンの研究から開発試験を行う拠点となった。2015年12月12日、角田市市民センターで角田宇宙センター開設50周年記念式典が行われたように、長い歴史を誇る宇宙開発拠点なのである。

「NALの時代にロケットの研究開発を開始しましたが、調布市では周囲に住宅が増えてロケットエンジンの試験ができなくなったため、ここに研究開発の拠点を移したわけです」

N型、H-I型、H-II型、H-IIA型と進化してきた日本のロケットだが、それらを進化させてきた液体ロケットエンジンは、ほぼすべてこの角田宇宙センターで研究開発が行われた。そして今、H3ロケットのエンジン開発が進行中だ。エンジンの製造はメーカーが行うが、角田宇宙センターはメーカーの技術者や大学の研究者などとともに基礎的な研究開発を進める場なのだ。

各国が着々と開発中の次世代の宇宙往還機
角田宇宙センターで進むロケットとスクラムジェットの融合型エンジンにはJAXAの未来が覗く

「液体水素」の実験が自由にできる希少な場

JAXAの研究開発部門のうち、宇宙輸送関連の研究開発は第四研究ユニットが担っているが、そのエンジニアのうち50人が角田宇宙センターに所属している。

「角田にはロケットエンジンの重要な開発要素である燃焼、軸受け、ターボポンプなどの専門家が多くいます。燃料を高圧にして燃焼室に送り込むターボポンプであれば、試験を繰り返してインデューサーと呼ばれる羽根や軸受、軸シールと呼ばれる部品のデザインを決定、メーカーはその元データによって設計・製造を行う、という流れです。次世代のH3ロケット・LE-9エンジンのシステムは筑波の専門家が担当。それを受けて、エンジンはどうするか、ターボポンプの形状や回転数、燃焼器の設計はどうするかなどをこちらで検討するという分担です」

研究開発には大学の研究者が加わっているケースも多い。吉田さんの専門は、エンジンの燃焼室に燃料である液体水素と液体酸素を高圧で送り込むターボポンプだ。

「日本で液体水素を自由に扱い実験できるエンジニアは、角田宇宙センターと能代ロケット実験場（秋田県能代市）、宇宙科学研究所（神奈川県相模原市）を合わせても数人だけでしょう。角田宇宙センターには、そういう意味で大きな技術の蓄積があるんです」

宇宙開発は未踏の技術の塊であるため成果を得るまでには長い時間と努力が求められ、それを継続できる国のみが宇宙開発を続けられる。角田では、それを象徴する未来を見据えた長年の取り組みがいくつもある。

新素材の登場でエンジン開発は新ステージへ

ロケットとマッハ8を超えるまで使えるスクラムジェットエンジンを融合させた「複合サイクルエンジン」はその1つ。ロケットは真空中を飛行するために燃料（液体水素）と、その15〜16倍重い酸化剤（液体酸素）を搭載しなくてはならないが、高度35kmでは海面のおよそ100分の1の密度とはいえ空気がある。そこで、その空気を酸化剤として取り込めば、輸送荷物量が増やせ、打ち上げコストも大幅に削減できる（東北大学・升谷五郎教授による）。そこで考えられたのが、ロケットとスクラムジェットエンジンを融合させた空気吸い込み式の「複合サイクルエンジン」で、角田の成果は国際的に高い評価を受けている。低速域から超音速域、極超音速域、そして高高度域へと、高度が増すごとに2種のエンジンを使い分けながら秒速8km（時速2万8800km）まで加速する仕組みだ。

訪ねた日は、航空技術部門が極超音速ターボジェットエンジンの燃焼試験の準備中だった。その計測制御室で、植田修一さん（第四研究ユニット主幹研究開発員）は、「研究開発を20年以上続けていますが、新しい材料が登場するなど周辺技術が進化してきているので、幅広い検討が可能になり新しいステージに入った感があります。アメリカに追いつけなかった分野ですが、我々は液体水素より扱いやすい炭化水素燃料を使ったエンジンで実用化を目指しています」と語っていた。

燃焼室に超音速の圧縮空気が流れ込む前人未踏の複合サイクルエンジンの開発は課題が山積みだが、チームの情熱に接し、「JAXAの未来、角田にあり」という思いがした。次回はぜひ、「複合サイクルエンジン」の試験の様子を見たいと思いながら角田を後にした。

目標はマッハ8を超える複合サイクルエンジン

（上）宇宙開発展示室で見ることができる「複合サイクルエンジン」（実際に燃焼試験をしたもの）。

複合サイクルエンジンを使用したスペースプレーンの想像図。

スクラムジェットエンジンや「複合サイクルエンジン」など超音速用のエンジン燃焼試験のための管制室。吉田さん（中央）、植田修一さん（第四研究ユニット主幹研究開発員・右）、極超音速ターボジェットエンジンの燃焼試験の準備をしていた小島孝之さん（航空技術部門次世代航空イノベーションハブ主任開発研究員）。

燃焼試験設備の一部である「低圧室」。直径3m、長さ6mあり、マッハ4、6、8相当の飛行環境を作り出せる。

（上・右上）まず見ることができないH-IIロケットの第2段燃料タンクが屋外に展示。
（右中）宇宙開発展示室では液体水素・液体酸素エンジンに必須のターボポンプ（写真）や燃焼器などを見ることができる。
（右下）指令破壊され深海から引き揚げたH-IIロケット8号機のエンジンなどが展示してある。失敗を克服していく「決意表明」の展示でもある。その教訓が世界トップレベルの成功率を更新し続けているH-IIAロケットにつながった。

D-NET

消防防災ヘリの運用に導入された JAXAのD-NET

災害が起これば どこにでも 迅速に出動する緊急消防援助隊を支援

消防庁広域応援室の「集中管理型消防防災ヘリコプター動態管理システム」の画面の前に立つ前田達也氏（右）と橋中佑索氏（左）。

2015年11月に実施した消防庁緊急消防援助隊全国訓練時におけるD-NET実証実験。奥にD-NETに対応したヘリ動態管理システムの画面が見えている。

JAXAの開発したD-NET（災害救援航空機情報共有ネットワーク）の技術は2014年4月に消防庁の「集中管理型消防防災ヘリコプター動態管理システム」に導入され、緊急消防援助隊のヘリコプターの運用に活用されています。
D-NETは大規模災害発生時に全国から集まった多数のヘリコプターの救援活動をより効果的かつ安全に実施することを可能にするシステムです。
D-NET利用の実際を、消防庁でうかがいました。

取材・文：寺門和夫（科学ジャーナリスト）

大規模災害が発生すれば、どこにでも迅速に出動

――緊急消防援助隊というものを少しご説明いただければと思います。

前田　緊急消防援助隊は1995年の阪神淡路大震災を契機に創設されました。災害が発生した都道府県だけでは対応できない大規模災害が発生した場合に、他の都道府県から応援に駆けつけるというものです。

――その緊急消防援助隊の中に、消防防災ヘリを中核とする航空隊もあるわけですね。現在、消防防災ヘリは全国に何機配備されているのでしょうか。

前田　配置されていない県が2つありますが、それ以外の都道府県に、政令市や都道府県が持っているヘリを合わせて55団体に合計76機が配備されています。

――大規模災害発生時にはそれらのヘリが現場に派遣されるわけですね。

前田　そうですね。災害発生時に人命救助活動等を効果的かつ迅速に実施するのが緊急消防援助隊の使命です。消防防災ヘリを被災地にいかに早く必要な機数を送りこむかが重要になっています。救援活動自体はどの航空隊もよく訓練されているので安心していますが、そこに至るまでの無駄をいかになくしていくのかは、消防庁として今後も検討していく必要があると考えています。

――日本の場合、地震や津波、火山の噴火、洪水など災害の種類もさまざまです。救援方法もさまざまだと思いますが。

前田　そうですね。現在、南海トラフ地震に対するアクションプランも策定していますし、御嶽山の噴火を踏まえた山岳救助技術に関する検討会も先頃まで行われていました。いろいろな特殊技術が必要な災害もあり、それを克服するための訓練も実施されています。

――昨年9月に関東東北豪雨で茨城県に発生した洪水では、救援ヘリの重要性が改めて認識されましたね。

前田　陸からのアプローチができないような災害もあります。関東東北豪雨では空からの救助が非常に効果的であることが認識されました。地震による災害でも、道路が寸断されて陸上部隊が駆けつけることができず、被災地が孤立することがあります。そういった場合も、空からの救助は非常に効果的だと考えられております。

――日本の救援活動体制は国際的にみて、どのくらいの水準にあるのでしょうか。

前田　日本のIRT（国際消防救助隊）は国際的な評価として、「ヘビー」という一番上のクラスにランクされていることから、日本の救援活動のレベルは高いと認識しています。

D-NETの活用で消防防災ヘリの効率的な運用を実現

――消防庁では2014年4月に、JAXAが開発を進めてきたD-NET（災害救援航空機情報共有ネットワーク）を活用した新しい集中管理型消防防災ヘリ動態管理システムの運用がはじまりました。現在、D-NETに対応する装備がなされた消防防災ヘリは何機でしょうか。

前田　76機中56機がD-NETに対応したヘリ動態管理システム（以下「ヘリ動態」という）を搭載しています。消防庁としては、できるだけ早期の全機搭載を目標にしています。

緊急消防援助隊中部ブロック訓練（2015年10月）におけるD-NETに対応したヘリ動態管理システム画面例。（画像提供：ナビコムアビエーション株式会社）

完全修理改造型のD-NETシステムを搭載した神戸市消防防災ヘリのコクピット。（画像提供：神戸市航空機動隊）

D-NETを搭載した神戸市消防防災ヘリコプター。（画像提供：神戸市航空機動隊）

――D-NETを活用した消防防災ヘリの運用には、どのような利点がありますか。

前田　全国に配備された各消防防災ヘリの位置情報が、一目瞭然でわかり、また、機体によっては、メッセージのやり取りで情報共有ができるという点です。こうしたことを合わせて考えれば、各ヘリに最適な任務を割り当てるための災害対応ツールとして非常に有効であると感じています。昨年11月、5年に1回の緊急消防援助隊全国合同訓練が行われましたが、その際、ヘリ動態の検証も行いました。大きな地震が起こったという想定のもとで、ヘリの位置情報の確認、空域の調整などに、ヘリ動態を利用しました。また、中部ブロックの訓練では、ヘリ動態を搭載していないヘリにも持ち込み型の端末を搭載し、参加した消防防災ヘリ全機がヘリ動態の訓練を行うことで、有意義な検証ができました

――メッセージ機能についてはいかがでしたか。

橋中　中部ブロックの訓練で、三重県防災航空隊の隊長がヘリ動態のメッセージ機能を使い、非常に有効的に活用できたと評価を得ています。

――今後の訓練についてはいかがですか。

前田　緊急消防援助隊の合同訓練は、全国を6ブロックに分けて実施しています。各ブロックの訓練は毎年1回行われており、来年度の重点推進事項の1つにヘリの動態管理システムを活用した訓練の実施も入っているので、今後、各ブロックの訓練において検証が行われる予定です。

橋中　補足しますと、全国6ブロックの訓練で、ヘリ動態がない機体にも持ち込み型を搭載し、全機にヘリ動態を搭載して訓練を行い、消防庁としてヘリ動態の運用マニュアルを構築していくための試験的な運用をしていこうと考えています。

――昨年の関東東北豪雨の救援活動でD-NETは使われましたか。

前田　はい。この災害では緊急消防援助隊のヘリが最大7機救助活動を行い、内、ヘリ動態を搭載した5機の動態管理を行いました。

橋中　この時にはメッセージのやりとりまでは行いませんでしたが、これも今後、行っていくことになります。

――D-NETの今後の利用について、何かお考えがありますか。

前田　これまでの災害の救援活動において、陸上隊と連携を図ることが難しいという課題が上がってきています。D-NETなどを活用して、陸と空の連携体制をつくっていく必要があるのではないかと考えています。また、大規模災害の場合には防衛省、警察、海上保安庁など各機関のヘリも集合しますので、現地における空域の調整などの、航空運用調整が必要になります。今後は、ヘリ動態等を活用し各機関との連携を強化していくことができたらと考えています。

前田達也
MAEDA, Tatsuya
消防庁広域応援室
航空専門官
併任課長補佐

橋中佑索
HASHINAKA, Yusaku
消防庁広域応援室
航空係
総務事務官

D-NET

災害時の空の安全・効率化を目指す

大規模災害の発生時にヘリコプターは捜索、救助、輸送などに重要な役割を果たします。JAXAは2004年以来災害時のヘリコプターなど航空機の効率的な運用を可能にする情報共有ネットワークD-NET(災害救援航空機情報共有ネットワーク)の研究開発を進めてきました。2011年の東日本大震災から5年目を迎える今年、よりスピーディな社会実装が求められてきたD-NETの現状について聞きました。

取材・文:笠原次郎

2014年11月のDMAT(災害派遣医療チーム)訓練でのD-NET実証実験に参加したJAXA実験ヘリ。

新潟県中越地震がきっかけに

――「D-NET」研究のきっかけについてお聞かせください。

小林　D-NETは、2004年の新潟県中越地震を契機に災害救援航空機のネットワークを構築するため、DREAMSプロジェクトというJAXA航空技術部門の研究開発プロジェクトの中の1つとして進めてきた研究です。

大賀　1995年の阪神淡路大震災以降、災害救援でのヘリの活動が注目されてきていましたが、当時は災害対策本部の中に航空機の運用調整を行う特別な部署はありませんでした。その後新潟県中越地震が発生し、航空運用調整班が設置されましたが、ヘリや地上からの音声通信で伝えられた情報を災害対策本部のホワイトボードで整理、情報共有して、音声通信で指示を出す状況でした。

小林　特に多くの機体が集まる大規模災害時には、集まった機体の特性によって任務割り当てをするなどの運航管理が重要となります。従来の運航管理から、より安全かつ効率的に、そして迅速に運航管理が行えるシステムを構築するためにD-NETの研究が始まりました。

大賀　その後、2008年に岩手宮城内陸地震が起きました。内陸の山岳地で起こった地震で、地上からの救助活動が困難だったため日本の災害史上初めてヘリが救援の中心となり、災害救援航空機に対する必要性がさらに注目されてきました。

小林　JAXAは、この直後に総務省消防庁と「消防防災における航空機の利用に関する技術協力の推進に係わる取り決め」を締結し、2009年度からは総務省消防庁および神戸市消防局との協力により、D-NETの評価・改良を進めるなど、実用化や社会実装への道を進んできました。

すべての災害救援ヘリへの配備を目指して

――D-NET技術に対応したシステムの実運用や製品の実用化についてお聞かせください。

小林　総務省消防庁で2014年4月より運用が開始された「集中管理型消防防災ヘリ動態管理システム」にはD-NET技術が使われています。

多くの消防防災ヘリは、JAXAでは「完全修理改造型システム」に分類しているD-NETに対応したシステムを搭載しています。またJAXAは、「一部修理改造型システム」や「完全持ち込み型システム」と呼んでいるシステムも福島県ドクターヘリ等に搭載したり、防災訓練で評価して研究開発を進めています。災害救援活動に従事する機関の特性に応じて機体に搭載するシステムを選択できるようにするためです。

災害の現場で使える技術を目指して

――大賀さんはどういうきっかけでD-NETに関わられたのですか。

大賀　私は仙台市消防局の消防航空隊でヘリのパイロットをしていました。2008年の岩手内陸地震の時には、ヘリを操縦するだけでなく、災害対策本部内に設置されたヘリ運用調整班で消防以外のヘリも含めて運用調整をする任務に従事しました。翌年にJAXAから岩手内陸地震時のヘリ運用調整についてヒアリングに来られて、初めて小林さんとお会いしました。東日本大震災の時にもヘリによる救援活動に従事しました。その後、総務省消防庁の専門委員会でも小林さんにお会いし、誘われた縁でJAXAで勤務するようになりました。

小林　大賀さんは、実際にパイロットとして救援活動をされていただけでなく、航空運用調整の業務も体験されていますので、D-NETの研究開発には大変重要な存在となっています。

今まで以上の人命を救うために

――最後に現在開発を進めているD-NET2について教えてください。

小林　今まで経験したことがないほどの広域・複合災害であった東日本大震災における救援活動を調査した結果、D-NETを活用した有人の航空機による救援や運用調整だけでは限界があることがわかりました。より安全かつ効率的な救援活動を行うために、D-NETに人工衛星や無人機などを組み合わせ、より多くの人命を救うことを目的に始めたのがD-NET2です。D-NET2の実現によって、例えば「だいち2号」の撮影画像から浸水域のデータを抽出して、災害対策本部や救援航空機間で情報共有することでより迅速な救援活動が可能になると考えています。東日本大震災の経験から、より短期間での実用化を目指す必要性を痛感しています。D-NET2の研究開発期間は2017年度末までですが、有効性が認められた機能から適宜実用化していきます。

D-NET2(災害救援航空機統合運用システム)の構成概念図。

小林啓二
KOBAYASHI, Keiji
航空技術部門
航空技術実証研究開発ユニット
運航技術研究グループ
防災・小型機運航技術セクション
主任研究員

大賀宏司
OHGA, Kohji
航空技術部門
飛行技術研究ユニット
飛行実験グループ
研究飛行セクション
研究飛行専門職

JAXA最前線

INFORMATION 1

X線天文衛星ASTRO-H打上げ成功、「ひとみ」と命名

2016年2月17日(水)X線天文衛星ASTRO-HがH-IIAロケット30号機により種子島宇宙センターから打ち上げられ、予定していた軌道に投入後、「ひとみ」と名付けられました。そして、冷却システムの立上げ・軟X線分光検出器の試験動作・伸展式光学ベンチの伸展など、重要なイベントを正常に終えました。これによりJAXAは、2月29日に、衛星の一連の健全性を確立するまでの期間である、クリティカル運用期間を終了したことを発表しました。今後は、衛星に搭載した機器の初期機能確認を約1カ月半、その後に衛星に搭載された観測機器の個性を把握し、観測精度を高めるための、キャリブレーション(較正)観測を約1カ月半かけて実施する予定です。

「ひとみ」は、X線天文衛星「すざく」の後継として開発が進められました。宇宙で我々が観測できる物質の約80パーセントは、X線でしか観測できないと考えられています。そのため宇宙の全貌を知る上で、X線観測は不可欠の手段です。

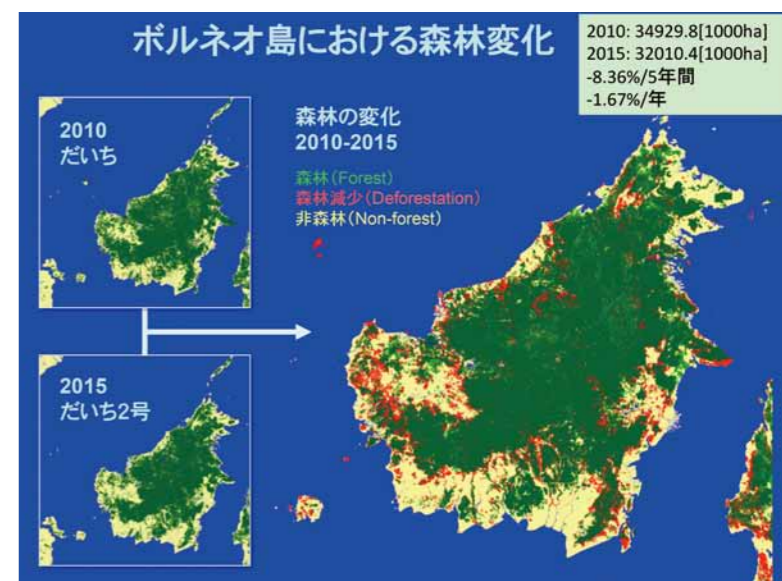
「ひとみ」には最先端の技術を駆使して開発された、2種類の望遠鏡と4種類の検出器が搭載されています。それらを使用してブラックホール、超新星残骸、銀河団など、X線やガンマ線を放射する高温・高エネルギーの天体の研究を通じて、宇宙の成り立ちを調べ、熱く激しい宇宙に潜む物理現象を解明することを目的としています。

INFORMATION 2

「だいち2号」による全球森林・非森林マップを公開

JAXAは、2015年5月24日に打上げた「だいち2号」(ALOS-2)を用いて全球25m分解能の全球森林・非森林マップを開発し、2016年1月28日より、そのマップを無償で公開することを発表しました。

陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)に搭載のLバンド合成開口レーダ(PALSAR-2)は、森林(自然林)の有無や森林の土地利用状況などの観測に適した電波を用いており、また天候や昼夜によらず観測ができるため、1年の多くが曇で覆われる熱帯域での森林観測に特に適しています。このマップは森林部分を緑色、非森林部分を黄色で表示しており、観測画像を定期的に発表することによって、全世界の森林の減少・増大の傾向を簡単に把握することができます。

CO_2の重要な吸収源である森林を地球規模で把握・保全することは、昨年、COP21で掲げられた温暖化抑制の目標を達成するためには欠かせないものであり、各国の政府機関等の森林保全計画に利用されることが考えられます。また、全球森林マップのデータは、JAXAが独立行政法人国際協力機構(JICA)と協力して、平成28年度から構築する「森林変化検出システム」の基本情報としても使用される予定です。

INFORMATION 3

観測ロケットS-310-44号機を打ち上げ

JAXAは、平成28年1月15日(金)に「電離圏プラズマ加熱現象の解明」を目的とした観測ロケットS-310-44号機を内之浦宇宙空間観測所から打上げました。ロケットは正常に飛翔し、内之浦南東海上に落下しました。

今回の観測ロケット実験では、太陽からのエネルギー入射によって発生する大気の運動に起因した、電離圏下部を流れる電流の中心付近で起きるプラズマ加熱現象を解明するために、高温度層内のプラズマと電場、磁場等の測定を行いました。

この電離圏は地球以外の大気のある惑星にも存在することから、この実験によって電離圏の理解が深まることは、地球以外の様々な惑星の大気や電離圏を考えていく上でも活かされていくことになります。

宇宙と航空の技術をビジネスに生かすお手伝い

JAXA新事業促進部の新たな取組み

JAXAは宇宙航空分野の技術や経験、コンテンツを豊富に保有しています。これらを利用すれば、新たなビジネスの創出が可能です。新事業促進部はそのお手伝いをするため、さまざまな取組みをしています。

取材・文：寺門和夫（科学ジャーナリスト）

JAXA COSMODE

知的財産の利用許諾

JAXA オープンラボ公募

施設設備供用

超小型衛星打上げ・放出機会提供

海外販路開拓・拡大

技術支援・受託業務

新事業促進部ウェブサイト
http://aerospacebiz.jaxa.jp/jp/
JAXA新事業　検索

木村真規子
KIMURA, Makiko
新事業促進部
新事業課

岸本 倫
KISHIMOTO, Rin
新事業促進部
新事業課

竹内奈穂子
TAKEUCHI, Naoko
新事業促進部
新事業課

JAXAとビジネスをつなぐ新しい試み「未来共創プロジェクト」

――JAXAの技術を使って新商品をつくりたい、宇宙や航空に関連した新たなビジネスを考えている、といった企業はたくさんあります。そうした相談の窓口になってくれるのが、新事業促進部ですね。

岸本　私はそのお問合せの窓口を担当しています。2015年度もすでに約400件のお問合せをいただきました。JAXAの技術に多くの企業の方が関心をお持ちだと感じています。

――どのような問い合わせが多いですか。

岸本　いろいろですね。「何かしたいんだけど、JAXAって何ができるの?」といったお問い合わせも多いので、一度お会いして、企業のご要望とJAXAをマッチングしていくというところからはじめることもあります。JAXAとの共同研究を希望されている企業の方にはJAXAオープンラボの制度をご紹介しますし、JAXAの持つ特許やコンテンツを使いたいという企業の方にはJAXAの知的財産の活用をご案内することもあります。企業の方々からの様々なご相談・ご依頼にワンストップでお応えしています。

――JAXAの技術を社会で使っていただくとすると、問い合わせを待っているだけでなく、JAXAの方から企業にアプローチすることも大事ですね。

岸本　はい。私たちはこれまでも銀行、証券会社や他の国立研究開発法人などの外部機関等と連携し、それぞれの機関特有のネットワークを相互活用しつつ、多様なマッチング活動を実践しています。今度、その1つとして、広告代理店の電通と組んで、「未来共創プロジェクト」というものをはじめました。このプロジェクトではまず、JAXAが持っている技術やノウハウ等の資産を「見える化（カタログ化）」します。次に、電通には、多くのクライアント企業がいますが、それらの企業の皆さんは、それぞれ様々な経営課題等を抱えていますので、それらの解決等に繋がるような新たなマッチングの可能性を検討します。具体的には「未来共創会議」という会議を通じて、企業と電通とJAXAの3社で互いの資産の活用案やビジネスアイデアを共創し、企業による事業化を目指しています。

――今、どこまで進んでいますか。

岸本　昨年の11月に相互連携の協定を締結して動きだしたところです。3月23日に「未来共創セミナー ～宇宙の技術を使って、社会課題を解決するイノベーションを生み出せ～」を開催しました。未来共創会議の意義やしくみを知っていただくためのセミナーでした。

――電通さんが絡んでくると、今までと違ったものが生まれてくるかもしれませんね。

岸本　これまでは企業とJAXAが1対1でお話するだけでは発想の拡がりがなく終わってしまうことや、JAXAの研究開発成果を使っていただいても単発で終わってしまったり、という課題がありました。第三者の電通に入ってもらい、新しい風を吹かせられるのではないかと思っています。これまで宇宙とまったくかかわりがなかった企業とのつながりが生まれていくことを期待しています。

JAXAの技術の社会実装を目指す「オープンラボ」

――オープンラボについてうかがいます。企業とJAXAが共同研究を行うこの制度は以前からありましたね。

竹内　はい。2015年度から新制度で運用しています。これまでのオープンラボは企業や大学の方に宇宙航空の分野にチャレンジしていただくという枠組みだったのですが、今回、もう一歩踏み込んで、JAXAの技術を使って、広く国民の皆さんに使っていただく製品やサービスを実現することを目的としました。社会実装が目的ですので、製品化やサービスの実現を最終的に目指す研究を募集の対象としています。実際の共同研究においても、JAXAが関与すべき要素があれば、実際に製品なりサービスが社会で使われるようになる手前のところまで一緒に取り組めるような制度にしました。

――なるほど。ずいぶん変わりましたね。

竹内　その他、オープンラボにいただく研究提案の中には、基礎研究段階ではあるけれど、それが製品化されたらすごく世の中の役に立つかもしれないものがありますが、これまでのオープンラボでは、こうしたケースを対象にすることができませんでした。今回は、製品化、サービス化を目指す「開発フェーズ」（開発Ⅰと開発Ⅱのフェーズがあります）に加え、「フィジビリティスタディフェーズ」という、いわば「お試し枠」を設けました。

――新しい制度での公募の結果はいかがでしたか。

竹内　総応募数の半数以上がフィジビリティスタディフェーズでした。6件が採択に至りましたが、そのうちフィジビリティスタディフェーズが半数を占めていますので、企業の方々の要望に対応できる枠組みになっているのではないかと思います。

――どのような研究が採択されましたか。

竹内　フィジビリティスタディフェーズで採択された研究の1つは、自励振動ヒートパイプに関するものです。自励振動ヒートパイプというのは、内部の冷媒が自分で振動して熱を輸送するヒートパイプのことで、JAXAはこのヒートパイプの長尺化の技術をもっています。応募された企業は、これを使うと熱交換率の良い冷却装置を開発できるのではないかとお考えでした。

――なるほど。これが製品化されると、JAXAもその開発成果を宇宙で利用できるかもしれませんね。

竹内　そうなんです。JAXAだけで研究していると時間がかかりますが、企業と共同研究すれば、早く成果が出る可能性があります。

――開発フェーズについてはどうですか。

竹内　例えば、音波を使って計測する機器を製作している企業からの提案が採択されています。航空機は離着陸の際に、低高度で強い風を受けて事故を起こすケースがあります。応募してくれた企業はその低層風を観測するための装置のプロトタイプに近いものをお持ちでした。一方、JAXAはDREAMSプロジェクトの一環で、航空機のパイロットに情報を伝達するシステムをもっています。この2つを組み合わせれば、低いところを吹いている危ない風を観測してパイロットに伝えることができるのではないかということで、開発を行うことになりました。

――なるほど。これはまさに社会実装を目指した研究ですね。オープンラボの今後の目標は何ですか。

竹内　共同研究をはじめてから製品化まで、多くの場合、少なくとも3年くらいはかかりますから、まずは、応募件数を増やして、さらに採択に至って共同研究をはじめられる件数をどんどん増やしていきたいと思っています。そのためには、オープンラボを皆さんに知っていただく活動もしていかなければと思います。

宇宙航空をより身近にする商品化許諾制度

――JAXAのロケットや人工衛星、探査機などをモチーフにしたグッズがいろいろ販売されていますね。ずいぶん人気です。

木村　JAXAは2014年度から、商品化許諾制度というものを開始しました。商品をつうじて、幅広い層の方々にJAXAの活動について興味を持っていただこうと始めたものです。人工衛星やロケット、リラックマのブルースーツなど、その形をきちんと模していただいていることを確認できれば、商品化を許諾するというシステムです。現在、80アイテム以上のライセンスを行っています。

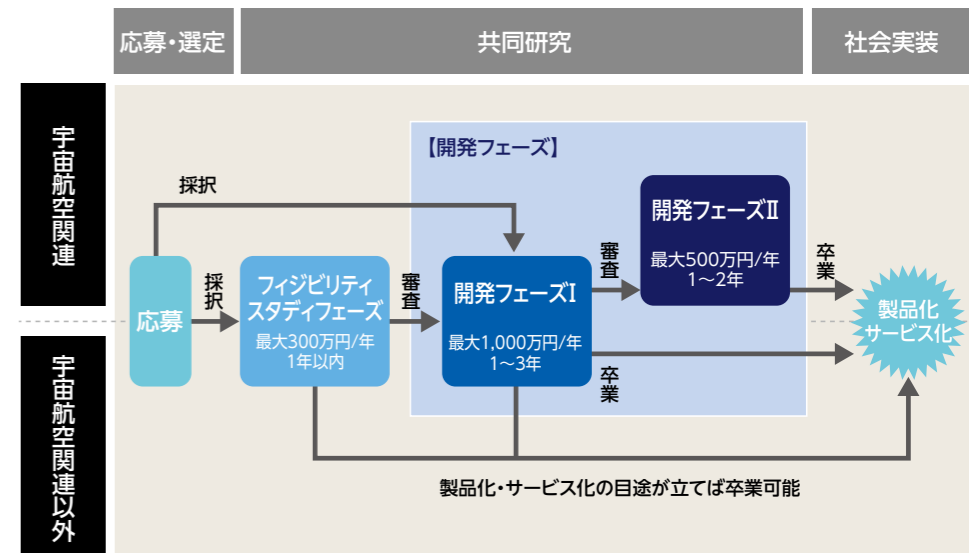
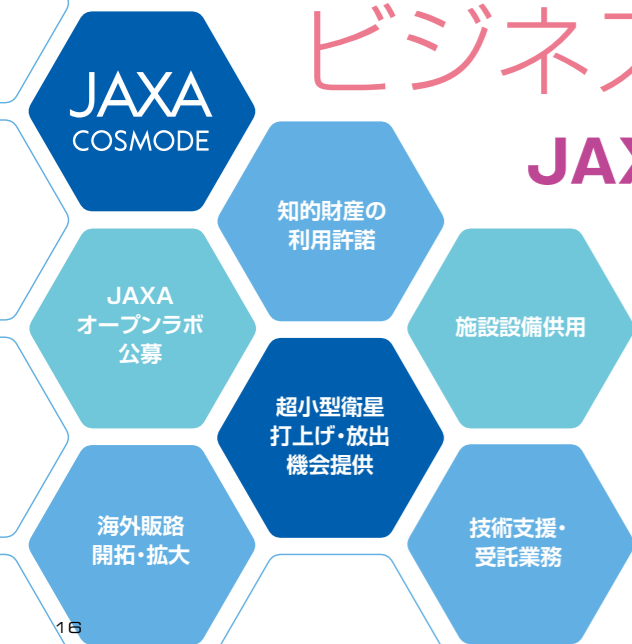
――JAXAの「お墨付き」の商品と言うことですね。

木村　許諾された商品にはJAXAのCOSMODEマークを入れていただき、商品化許諾品ということがわかるようになっています。

――この制度がスタートしてからの反響はどうでしたか。

木村　「はやぶさ2」の打ち上げもありましたので、たくさんの企業の方々から申請をいただきました。それから「SPACE EXPO 宇宙博2014」ですね。この時も商品をいろいろ展示していただきました。在庫がなくなるくらい反響のあった商品もあります。2015年ですと、タカラトミーは、はやぶさ2モデルを商品として出してくれましたが、これまで車輪のある商品しか出したことがなかったそうです。はじめて車輪のない商品を作っていただきましたが、とても人気です。

――今後、商品化をしたいものは何ですか。

木村　やはり将来を担う子供たちが宇宙航空に興味をもってくださるように、教育面、たとえばノートですとか、わくわくしながら宇宙が学べる文房具や、ご家族で楽しんでいただけるような工作、ペーパークラフトや模型の商品化を広げていきたいと思っています。それから、人工衛星をモチーフにしたアクセサリーなども商品化されているのですが、女子高生をはじめいろいろな年代の女性からの反響が大きく、これまで宇宙に興味がなかった方でも手に取っていただけました。幅広い年齢層を対象にした商品化もしていきたいと思っています。

JAXAオープンラボ公募制度概要

研究開発の現場から

ワイヤレス衛星の実現を目指して

人工衛星にはロケットの打ち上げ能力や積載容量などから、よりコンパクトで軽量であることが求められます。同時に、打ち上げや宇宙の過酷な環境に長期間耐えうる高い信頼性も欠かせません。この課題を同時に解決する1つの有力な技術がワイヤレス化です。ワイヤレスでの通信や給電は身のまわりの電子機器や電気製品で普及しつつありますが、これを宇宙で応用することで人工衛星の画期的な機能向上が実現できるのです。ワイヤレス化によって衛星がどのように進化するのか、JAXA研究開発部門の研究チームにお話しを伺いました。

取材・文：山村紳一郎（サイエンスライター）

衛星の軽量化と高信頼性を実現

――衛星のワイヤレス化とは、具体的にどのようなことを目指しているのでしょうか?

市川　大きく2つの目的があります。1つは衛星の各モジュール間やセンサと機器のデータ通信や給電をワイヤレスにすることで、伝送ケーブル（ハーネス）類をなくして大幅に軽量化することです。もう1つは、機器同士やセンサなどをケーブルやコネクタの制約なく接続できるようにして、設計や製造の自由度を向上させることです。発生しやすい断線や接触不良などのトラブルもなくなり、信頼性も向上します。

「ワイヤレスならではの便利で使いやすい衛星を一日も早く提案したい」という市川愉リーダ。

市川 愉
ICHIKAWA, Satoshi
研究開発部門
第一研究ユニット
研究領域リーダ

――なぜそのような技術が注目されているのでしょうか?

市川　ほとんどの衛星は、ミッションごとに1機ずつ製造されます。基本的に全体が新規設計で製作や試験にたいへんなコストや手間が必要なため、数年前から部分的な共用が考えられてきました。しかし衛星ごとに目的に応じた最高性能を目指して設計されるため、たとえばコネクタのピン配列などが独自設計であることが多く、共用のための接続が難しい…ワイヤレス接続にすればその問題が解決できるのです。

――ワイヤーがなくなって軽量化ができるのですね。

市川　現在の衛星ではケーブルを始めとした計装の重量は、衛星本体の10%にもなります。ケーブルに換えて送受信機器を搭載するのでこれがゼロになるわけではありませんが、大幅な軽量化が可能です。また機器間のつなぎ替えが容易になるので、重要機器のバックアップで搭載するケーブルや機器を大幅に減らすことができます。さらにワイヤレス接続であれば組み立て工程が簡便化でき、問題に対処するために配線をやり直す必要がないので、地上でのテストやメンテナンスが非常に合理化できます。そのぶん、機能向上上の開発や製造に力を注げることになります。つまり、衛星全体の機能向上につながるということです。

衛星構体取付コイルアレイモデル
衛星構体に取り付けて電力供給用として用いる磁界結合用コイルアレイのモデル。薄く自由に曲げられるFPC（Flexible Printed Circuits:プリント配線基板）を採用することで、軽量で設置形状の自由度を高めることを目指している。

データも電力もワイヤレスで送る

――現在はどのような開発を進めておられるのですか?

市川　大きく3つのテーマがあります。1つは熱センサなど小型センサへの、電磁波による微小電力の給電です。センサをマイクロワットで作動させられれば、たくさんのセンサに電磁波を照射することで同時に給電できます。現在は地上試験の際に衛星などに設置する数100個のセンサへの給電をめざし、そのためのチップ開発などを進めています。

2つめは衛星の装置間のワイヤレスでのデータ伝送で、これにはBluetooth®など既存の近距離無線通信技術を応用します。衛星の開発期間は数年におよぶので、日進月歩しているこれらの通信技術を用いれば、独自技術を開発して搭載するより新しくて優れた技術が活用できるためです。現在、干渉がなく効果的な方式を検討しているところです。

そして3つめがワイヤレス給電で、すべてのモジュールへケーブルなしで送電します。将来的には完成してロケットに組みこんだ状態で待機していても、機器を充電できるようになるかもしれません。

嶋田　大電力のワイヤレス給電には大きく磁界結合方式と電界結合方式があります。前者は民生品でも電動歯ブラシの充電などに使われていますが、比較的大きな電力を送れる一方で電磁波が漏れて周囲に影響を与えやすい面があります。後者は外部への影響は小さいのですが送れる電力が小さく、また距離が接近している必要があります。

――それぞれ一長一短あるのですね。どちらの方式を使っていくのでしょうか?

嶋田　使用する場所や目的で使い分けていくことになります。例えば太陽電池パネルの旋回部分などでは、現在はスリップリングという部品で電力伝送路を接続しています。これは環状の電極とブラシを接触させた状態で電気的に接続して電力を伝達する機構ですが、金属同士が触れてこすれるために劣化や摩耗が問題になります。これを磁界結合とするワイヤレス化技術が完成しつつある段階です。4年後をめどに小型衛星で宇宙実証を行い、さらに中型大型衛星にも応用していきたいと考えています。

――ワイヤレス給電での技術的なポイントはどこにあるのでしょう?

川崎　いかにして送電効率を向上させるかですね。送電時のロスは熱になりますので宇宙機では大きな問題です。また電磁界が機器に与える影響を評価する必要があります。さらに複数機器への給電などは研究例も少なく、本当に未知の領域への挑戦…という難しさがありますね。

「ワイヤレス化を基本に考えればまったく新しい衛星の可能性が生まれてきます」という川崎治リーダ。

川崎 治
KAWASAKI, Osamu
研究開発部門
第一研究ユニット
研究領域リーダ

衛星の付加価値を大きく高める

――開発が進むことによって、衛星はどのように進化していくのでしょう?

市川　重要なことは、単に衛星の一部分をワイヤレスにすることではない…という点です。部分的な換装ではメリットもデメリットも同時に発生するので、圧倒的な向上は実現しません。衛星のシステム全体をワイヤレスを基準に考えれば、それが変わります。例えばワイヤレスにすれば機器を完全な耐環境パッケージに封入することも可能です。これまで破損を恐れて配置できなかった場所にもセンサが設置できるので、より詳細なデータ収集による開発での新発想も生まれるでしょう。また、これまで1カ月以上が必要だった地上での真空耐熱試験が、センサがワイヤレス接続できれば5日ほどに効率化でき、完成までが大幅にスピードアップできます。衛星内部の複雑なワイヤ脱着がなくなれば、軌道上での調整や修理をロボットで行える可能性も高まります。衛星そのものの付加価値が大きく膨らむんです。

嶋田　この技術は多方面に応用も可能です。例えば月面で自律的に探査を行うローバー（小型探査車）にワイヤレス給電すれば、太陽電池の使えない夜間でも活動できます。ISSなどの中で宇宙飛行士が使うハンドヘルド機器…例えばノートパソコンなども、作業中に充電できるようになり、作業性が向上するでしょう。

川崎　設計から運用までのすべての段階で、自由度が向上する点が大きいですね。有人の宇宙機では飛行士のコネクタ接続時等の感電防止のための安全要求がありますが、ワイヤレス化が実現すれば感電の原因そのものがなくなります。作業クルーにとっても負担が減り、そのぶん宇宙でできることが増えることになります。

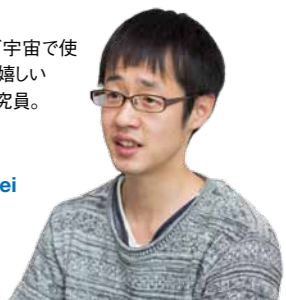
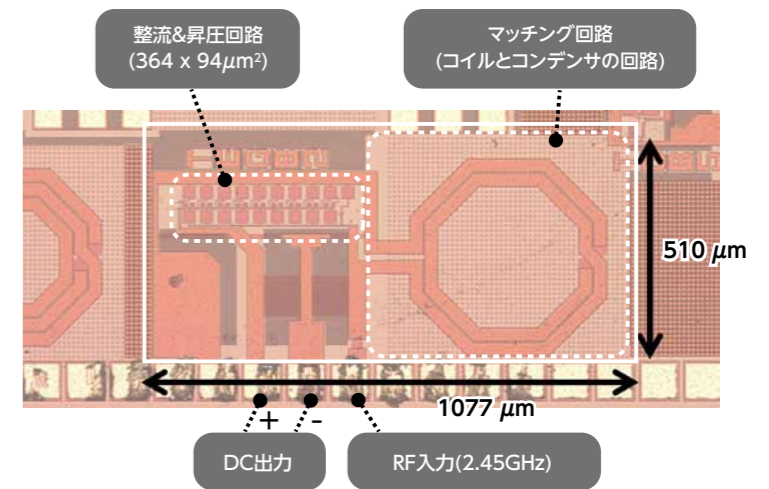
――なるほど。より自由で高機能な宇宙技術の開拓に発展していく…取り組みがいのある技術ですね。

川崎　宇宙でのワイヤレス技術は未開拓の分野です。その領域で新技術をゼロから考え、応用を探し課題を解決して形にしていくというのは、たいへん有意義ですし研究者としても満足を感じています。

市川　宇宙の環境はさまざまな制約がありますが、それを乗り越えるために各分野の先端技術を統合して他にない新技術を創造する…それがこの研究の醍醐味でもあります。

――ワイヤレス化がどのような衛星を作りだしていくのか…日本の宇宙ビジネスにもたらすアドバンスも含めて、将来がとても楽しみになってきました。

「自分で考えたモデルが宇宙で使われるのは、やはりとても嬉しいです」という嶋田修平研究員。

嶋田修平
SHIMADA, Shuhei
研究開発部門
第一研究ユニット
研究員

開発中の高周波ー電力変換半導体チップ
SOI（Silicon-on-Insulator）技術を用いて開発した「高周波ー電力変換半導体チップ」。ワイヤレスセンサへの給電のため、GHz帯の高周波を受信して最小限の損失で直流電流に変換する。SOIによるチップは放射線耐性に優れるため宇宙用LSIに利用されているが、今回は高周波の損失が少ない点に着目して採用した。

50kg級超小型衛星「DIWATA-1」の受領完了

2016年1月13日、JAXA筑波宇宙センターにおいて、フィリピン政府国産初となる50kg級超小型衛星「DIWATA-1」がJAXAへ引き渡されました。
この衛星は、フィリピン科学技術省、フィリピン大学、北海道大学および東北大学が共同開発した50kg級の超小型衛星で、魚眼カメラや地上解像度3mの望遠鏡など、倍率の異なる4種類の撮像装置が搭載されており、台風や集中豪雨などの気象災害の監視から、農業、漁業、森林、環境モニターなど、さまざまな用途に使用される予定です。
「DIWATA-1」は、2016年前半に国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟からの放出を予定しております。「きぼう」からJAXAの小型衛星放出機構（J-SSOD）によって放出される50kg級の超小型衛星としては「初」となるもので、フィリピン政府が衛星開発から打ち上げ等の資金を負担し、「きぼう」からの放出については、JAXAと東北大学との間で有償利用契約が締結されています。

第22回APRSAF-22 インドネシアで開催

2015年12月1日〜4日、文部科学省、JAXA及びインドネシア研究技術・高等教育省（RISTEK-DIKTI）、同国立航空宇宙研究所（LAPAN）の共催により、第22回目となるアジア・太平洋地域宇宙機関会議（APRSAF）がインドネシア・バリ島にて開催されました。
APRSAFは、宇宙分野におけるアジア・太平洋地域最大規模の国際会議です。1993年から毎年、日本がアジア・太平洋地域の宇宙機関と共同で開催し、今回の会議には、28カ国・地域、10国際機関から約480名が参加しました。
宇宙利用、宇宙技術、宇宙環境利用、宇宙教育などの分野における、最新の取り組みや将来計画に関する議論が行われました。また、災害や環境など地域共有の課題解決に向けた協力方策や、国際宇宙ステー ション（ISS）日本実験棟「きぼう」利用の推進、次世代に向けた人材育成の取り組みなど、幅広く協力活動の検討も進められました。次回APRSAF-23は、2016年11月15日から11月18日まで、フィリピン・マニラで開催予定です。

ブラックホール関連の発見相次ぐ

京都大学、JAXAなどの研究者からなる国際研究チームは、2016年1月6日付の英国科学誌「Nature」誌の電子版に、ブラックホール近傍からの放射エネルギーが5分〜2.5時間程度の周期で明滅する振動現象を、2015年6月中旬から7月初旬にかけて、目で見える可視光で初めて捉えたことを発表しました。国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォームに取りつけられた全天エックス線監視装置（MAXI）が初期の活動開始を捉え全世界に通報したことが、今回の発見につながりました。
2月11日には、米国の LIGO（重力波望遠鏡）研究チームが 2 つのブラックホールが合体したときに出された重力波を検出したと発表し、それとほぼ同時刻に、NASAのフェルミ衛星が重力波と同じ方向から出たガンマ線バースト（突発的な放射）を観測しているという報告もあります。
今後、MAXIや、2月17日に打ち上げられたX線天文衛星「ひとみ」（ASTRO-H）で観測した詳細なデータを、LIGOなどの機関と共有して研究を進めることで、宇宙の謎の解明に大きく貢献することが期待されます。

宇宙航空プロジェクト募集特定寄附金制度

宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、宇宙活動を応援してくださる皆様のお気持ちを研究開発に生かし、社会に貢献していきます。ご寄附はインターネット等から簡単に行っていただけます。

http://www.jaxa.jp/about/donations/index_j.html

■お問合せ先　JAXA寄附金担当　050-3362-6700
（受付時間　9:30〜12:15、13:00〜17:45）

『JAXA's』配送サービスをご利用ください。

ご自宅や職場など、ご指定の場所へ『JAXA's』を配送します。本サービスご利用には、配送に要する実費をご負担いただくことになります。
詳しくは下記ウェブサイトをご覧ください。

http://www.jaxas.jp/

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構機関誌
発行責任者●JAXA
（国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構）
広報部長　庄司義和
編集制作●株式会社ビー・シー・シー
2016年4月1日発行

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency
広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650　FAX:03-3258-5051
JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/